

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/013807

International filing date: 04 December 2004 (04.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 103 57 824.2  
Filing date: 09 December 2003 (09.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 26 January 2005 (26.01.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in  
compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

13 JAN 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 57 824.2

**Anmeldetag:** 09. Dezember 2003

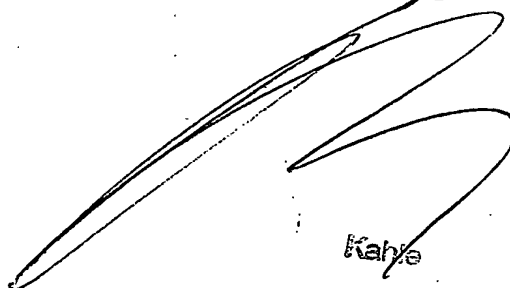
**Anmelder/Inhaber:** KUKA Roboter GmbH, 86165 Augsburg/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben  
zusammenarbeitender, unterschiedlicher Geräte

**IPC:** G 05 B, B 25 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Dezember 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

  
Kahle

PATENTANWÄLTE  
DIPL.-ING. HEINER LICHTI  
DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. JOST LEMPERT  
DIPL.-ING. HARTMUT LASCH  
DIPL.-ING. STEFFEN LENZ

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)  
POSTFACH 410760  
TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH  
Blücherstraße 144

9. Dezember 2003  
20405.7 Le/nu/zl

86165 Augsburg

**Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben zusammenarbeitender,  
unterschiedlicher Geräte**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung  
zum Betreiben zusammenarbeitender, auch unterschiedlicher  
Geräte mit diese durch Steuerungsabläufe steuernden unter-  
5 schiedlichen Steuerungen, insbesondere mit unterschiedli-  
chen Steuerungstakten.

10 Komplexe Anlagen, die eine Vielzahl zusammenarbeitender,  
unterschiedlicher Geräte umfassen, werden heutzutage vor-  
zugsweise unter Verwendung PC-basierter Steuerungslösungen  
hinsichtlich einer Steuerung von Bewegungen (im Folgenden  
auch als "Motionwelt" oder "Bewegungswelt" bezeichnet) ge-  
steuert. Dabei kann es sich bei den gemeinsam zu steuernden  
Geräten einer derartigen Anlage beispielsweise um CNC-  
15 Systeme (CNC: Computer Numeric Control), RC-Systeme (RC:  
Robot Controller) und/oder PLC-Systeme (PLC: Programmable  
Logic Control; auch SPS: speicherprogrammierbare Steuerung)  
handeln, wobei PLC und SoftPLC-Systeme gleich zu behandeln  
sind (SoftPLC/SoftSPS: eine softwaretechnisch ausgebildete  
20 PLC/SPS).

Bei komplexen Anlagenkonzepten, wie z.B. in der Laser-  
Anlagentechnik, werden vielfältige Koordinierungsmöglich-  
keiten zwischen Robotern, Spann- und Halteeinrichtungen,  
5 Laser- und Liniensteuerungen benötigt. So werden beispiels-  
weise die Geometrie-Stationen bei führenden Automobilher-  
stellern über ein internes Protokoll einer ASCII-Schnitt-  
stelle über externe Personalcomputer (PC) koordiniert, um  
ein gleiches Zeitverhalten der Roboterwelt (RC-Kern), der  
10 CNC-Spanntechnik sowie der Lasertechnik zu erreichen. Dabei  
ist es notwendig, dass einzelne Zeitverhalten der verschie-  
denen Motionwelten (RC, CNC, PLC) in einer speziell defi-  
nierten ASCII-Datei über ein geeignetes Protokoll, wie  
TCP/IP, an einen Koordinations-PC zu schicken, der die ge-  
15 nannten drei Bewegungswelten hinsichtlich ihres Zeitverhal-  
tens korrigiert und über das ASCII-file wieder an die ver-  
schiedenen Steuerungen zurückschickt. Derartige Steuerungs-  
verfahren bzw. -vorrichtungen sind hinsichtlich ihres Auf-  
baus bzw. Ablaufes komplex und dementsprechend unflexibel.

20

Der Erfindung liegt zur Vermeidung der vorstehend genannten  
Nachteile die Aufgabe zugrunde, eine vereinfachte und fle-  
xiblere Koordination und Bewegungsplanung insbesondere bei  
komplexen Anlagen der eingangs genannten Art zu erreichen.

25

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genann-  
ten Art dadurch gelöst, dass die Takte der unterschiedli-  
chen Steuerungen auf einen gemeinsamen Systemtakt interpo-  
liert werden und dass die Steuerungsabläufe in mindestens  
30 einer Synchronisationseinrichtung synchronisiert werden.  
Entsprechend weist eine Vorrichtung der eingangs genannten  
Art zur Lösung der Aufgabe mindestens eine gemeinsame In-  
terpolationseinrichtung für die Steuerungen zum Interpolie-  
ren der Takte der unterschiedlichen Steuerungen auf einen  
35 gemeinsamen Systemtakt und mindestens eine Synchronisati-

onseinrichtung zum Synchronisieren der Steuerungsabläufe auf.

Auf diese Weise ergibt sich erfindungsgemäß eine einfache  
5 Bedienbarkeit auch komplexer Anlagen, wie z.B. in der vor-  
stehend erwähnten Lasertechnik, wo Roboterbewegungen mit  
PLC-Bewegungen (z.B. einer Liniensteuerung) und Spanntechniken als Einheit koordiniert werden müssen. Die im Rahmen  
der Erfindung vorgesehene Koordinierungseinrichtung koordi-  
10 niert das Zusammenspiel der einzelnen Achsen und Achshau-  
fen. Unter Letzteren versteht man eine Gruppierung solcher  
Achsen, die über einen gemeinsamen Antriebstreiber, wie  
eine DPRAM-Schnittstelle (DPRAM: Dual-Port-Zufallszugriffs-  
speicher) getrieben werden, so dass alle in einem Achshau-  
15 fen gebundenen Antriebe eine gleiche Konfiguration bezüglich  
Taktfrequenz und Protokoll besitzen.

In Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vor-  
gesehen, dass Funktionseinheiten der Geräte nach erfolgter  
20 Synchronisierung nach einer weiteren Interpolation mit  
Steuersignalen versorgt werden. Es ist somit möglich, be-  
stimmte Geräte der Anlage mit unterschiedlichen Takten zu  
betreiben, wenn dies beispielsweise aus Genauigkeits-  
und/oder Regelungsgründen erforderlich sein sollte. In Wei-  
25 terbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist diese  
daher zumindest eine weitere Interpolationseinrichtung zum  
Interpolieren von Steuersignalen für Funktionseinheiten der  
Geräte nach erfolgter Synchronisierung auf.

30 Weiterhin kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass Achsen  
der Geräte koordiniert werden. Entsprechend weist eine be-  
vorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung  
eine Koordinationseinrichtung zum Koordinieren der Steue-  
rungsabläufe auf.

Um eine Echtzeitsteuerung der Anlage bzw. der Geräte zu ermöglichen ist vorgesehen, dass die Koordination und/oder Synchronisation in Echtzeit durchgeführt wird. Zweckmäßig sind daher die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung echtzeitfähig ausgebildet. Weiterhin kann zu Bedien- und Konfigurationszwecken eine nicht-echtzeitfähige Komponente zum Verändern von Einstellungen der Synchronisations- und/oder Koordinationseinrichtung vorgesehen sein.

Da beispielsweise von einer Robotersteuerung (RC) über deren Interpolator wesentlich mehr koordinatenbezogene und roboterspezifische Informationen an die Koordinierungseinrichtung übertragen werden müssen als beispielsweise über eine einfachere SoftPLC bzw. deren Interpolator, ist im Rahmen einer äußerst bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass die unterschiedlichen Steuerungstakte  $IPO_i$  der unterschiedlichen Steuerungen gemäß einer Beziehung

$$IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n_i = 1, 2, 3, \dots$$

gewählt werden, wobei  $t_{\text{Tick}}$  ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer zur Durchführung des Verfahrens verwendeten Hardware ist. Ein solches Verfahren erlaubt verschiedene Regelalgorithmen für die verschiedenen Anwendungsfälle, wie Robotersteuerung, SoftPLC (Verpackungsindustrie oder Anlagentechnik) oder CNC-Anwendungen. Dabei erfolgt die erfindungsgemäße Interpolation auf einen gemeinsamen Systemtakt vorzugsweise in einer gemeinsamen Interpolationseinrichtung für alle Steuerungen. Im Rahmen einer äußerst bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die gemeinsame Interpolationseinrichtung entsprechend zum Interpolieren von Steuerungstakten der Form  $IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}$  mit  $n_i = 1, 2, 3, \dots$  ausgebildet, wobei

$t_{\text{Tick}}$  ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer verwendeten Hardware ist.

In bevorzugter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Koordinierungseinrichtung durch die Funktionseinheiten ein veränderter Systemtakt vorgeschlagen. Es ist auf diese Weise möglich, spezielle Regelverfahren, wie z.B. eine Stromregelung durchzuführen, die aufgrund einer erforderlichen Genauigkeit oder dergleichen ein kürzeres Taktsignal benötigen. Zweckmäßigerweise kann dabei die Koordinierungseinrichtung den vorgeschlagenen, veränderten Systemtakt ablehnen oder annehmen. Letzterer Fall wird insbesondere dann auftreten, wenn eine Belastung des Gesamtsystems durch den neuen Systemtakt tatsächlich verkraftbar ist: Je höher die Taktfrequenz, desto öfter müssen Regelschleifen im (Echtzeit-)Betriebssystem berechnet werden. In Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass eine Anzahl von Funktionseinheiten nach erfolgter Taktänderung nach dem alten Systemtakt weiterbetrieben werden. Um dies zu ermöglichen, gilt für den veränderten Systemtakt zweckmäßiger Weise

$$t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n' = 1, 2, 3, \dots$$

Dementsprechend ist erfindungsgemäß die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung vorzugsweise zum Verändern des Systemtaktes ausgebildet, wobei für den veränderten Systemtakt gilt:  $t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}$ , um so auf Anfrage durch wenigstens eine Funktionseinheit auch ein kürzeres Taktsignal verwenden zu können. In diesem Zusammenhang weist die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung in Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Bestimmungseinrichtung zum Bestimmen einer Belastung des Systems auf, deren Ergebnisse für die Veränderungen des Systemtakts maßgeblich ist. Auf diese Weise sind erfindungs-

gemäß nur solche Takteinstellungen für das Gesamtsystem erlaubt, die durch dieses, insbesondere durch dessen echtzeitfähige Bestandteile, auch tatsächlich verkraftet wird.

- 5 Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vorzugsweise jeweils eine Mehrzahl von Geräten eines bestimmten Gerätetyps betrieben.

10 Im Rahmen einer einfachen und flexiblen Ausgestaltung und Einsetzbarkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann weiterhin vorgesehen sein, dass zumindest die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung und eine Anzahl von Steuerungen als auf einer gemeinsamen Rechnereinheit ausführbare Programmeinrichtungen ausgebildet sind. Dabei kann  
15 insbesondere vorgesehen sein, dass zum Zwecke einer verbesserten Anpassbarkeit eine Anlage weitere Geräte während des Betriebs anschließbar sind.

Weitere Eigenschaften und Vorteile der Erfindung ergeben  
20 sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Es zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Gesamtdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;  
25  
Fig. 2 eine detailliertere Darstellung insbesondere eines echtzeitfähigen Bestandteils der erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß der Fig. 1; und  
30 Fig. 3 eine detailliertere Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß der Fig. 1 und 2.

Die Fig. 1 zeigt die Gesamtarchitektur einer multifunktionalen PC-Steuerungsvorrichtung 1 für komplexe Anlagen mit  
35 einer Vielzahl zusammenarbeitender unterschiedlicher Gerä-



te, wie Industrierobotern, Spannvorrichtungen, Laser-Schneidwerkzeugen, einer Förderlinie oder dergleichen (hier nicht dargestellt); Datenübertragungen im Zuge von Steuerungsabläufe sind hier - wie auch in den folgenden Fig. 2 und 3 - als Doppelpfeile dargestellt.

Die gesamte erfindungsgemäße Vorrichtung 1 ist in Form eines in geeigneter Weise programmtechnisch eingerichteten Personalcomputers PC ausgebildet, wie durch den vertikalen Balken links symbolisiert wird. Der PC weist zu Bedienungszwecken ein nicht-echtzeitfähiges Betriebssystem 2, wie Windows, und zu Steuerungszwecken ein echtzeitfähiges Betriebssystem 3, wie VxWorks, auf. Eine Kommunikation zwischen dem nicht echtzeitfähigen Betriebssystem 2 und dem echtzeitfähigen Betriebssystem 3 wird mittels eines geeigneten Protokolls, wie eines TCP/IP-Protokolls 4, gewährleistet.

Auf der Ebene des nicht-echtzeitfähigen Betriebssystems 2 ist die PC-Steuerung zum Ausführen programmtechnisch eingerichteter Bedienprogramme, wie Entwicklungs- und Diagnosewerkzeugen 2.1, ausgebildet. Bei diesen kann es sich beispielsweise um Programmierwerkzeuge handeln, mit denen sich - wie in der Fig. 1 anhand vertikaler Pfeile angedeutet - auf eine Mensch-Maschinen-Schnittstelle 2.2 (Human Machine Interface HMI), einen SPS-Code 2.3, d.h. ein Steuerungsprogramm für eine ggf. softwaretechnisch ausgebildete PLC und einen G-Code 2.4, d.h. ein CNC-Steuerprogramm eingewirkt werden kann. Weiterhin weist sie eine Bestimmungseinrichtung 2.6 zum Bestimmen einer Auslastung ihrer Rechnerkapazitäten auf.

Im echtzeitfähigen Teil 3 der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 weist diese gemäß der Ausgestaltung der Fig. 1 eine Robotersteuerung RC 3.1, eine speicherprogrammierbare Steuerung

PLC, SPS 3.2 mit sogenannten MCF-Blöcken (Motion Control Function Blocks) sowie eine CNC-Einrichtung 3.3 (Computer Numeric Control) auf. Letztere sind softwaretechnisch als auf dem PC ablaufende Programme ausgebildet und beinhalten

5 jeweils eine Interpolationseinrichtung 3.1a, 3.2a, 3.3a, nach deren Taktvorgabe die jeweilige Steuerung 3.1, 3.2, 3.3 das speziell für sie geeignete (Bewegungs-)Programm 2.2, 2.3, 2.4 abarbeitet.

10 Zur Weiterverarbeitung der von der Interpolationseinrichtung 3.1a, 3.2a, 3.3a gelieferten Interpolationsdaten weist die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 in ihrem Echtzeitbereich 3 weiterhin eine als "Motionmanager" bezeichnete Programm-

15 einrichtung 5 auf. Der Motionmanager 5 besitzt eine nicht-echtzeitfähige Konfigurationseinrichtung, die in der Ausgestaltung gemäß der Fig. 1 nicht explizit dargestellt sondern mittels einer (gestrichelten) Verbindung 5.1 vom

20 Motionmanager 5 zu dem bereits erwähnten, auf der Nicht-Echtzeit-Ebene 2 des PC befindlichen Bedienungseinrichtung 2.1 dargestellt ist. Der Motionmanager 5 stellt den zentralen Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 dar und wird nachfolgend anhand der Fig. 2 und 3 noch detailliert erläutert.

25 Der Motionmanager 5 besitzt weiterhin eine Bewegungs-Treiberschicht 5.2, z.B. eine DPRAM-Schnittstelle, mit Treibern 5.2a-5.2f zur Informationsübertragung an Funktionseinheiten 6 der Anlage, wie Antriebe 6.1a-6.1g, Stromquellen 6.2a-6.2c oder dergleichen. Bei den Treibern 5.2a-5.2f kann es

30 sich um DPRAM-Treiber, Ethernet-Treiber, PowerLink-Treiber, Sercos-Treiber, Ethercat-Treiber oder dergleichen handeln. Die Informationsübermittlung an die genannten Funktionseinheiten 6 der Anlage erfolgt über eine Anzahl von (Antriebs-)Bussen 8.1, 8.2, 8.3. Letztere umfassen zusätz-

35 lich noch weitere Elemente, wie Elemente zur digitalen

Signalübertragung (DSE: Digital Signal Electronic) 6.3 oder weitere Echtzeit-Elemente (HRB: Hard Realtime Board) 6.4. Diese weiteren Elemente 6.3, 6.4 müssen nicht als eigenständige Hardware-Komponenten im Antriebsbus angeordnet  
 5 sondern können auch als programmtechnische Einrichtungen innerhalb der PC-Steuerung vorhanden sein, wie beispielhaft anhand einer weiteren DSE 6.3' gezeigt.

Der Motionmanager 5 dient erfindungsgemäß dazu, die ver-  
 10 schiedenen Steuerungen und Antriebe miteinander zu verbinden und deren Bewegungen zu koordinieren und zu synchronisieren, fungiert also im Rahmen der vorliegenden Erfindung als Synchronisations- und Koordinationseinrichtung. Für einen koordinierten Ablauf ist es erforderlich, die von den  
 15 Steuerungen 3.1, 3.2, 3.3 kommenden Interpolationstakte  $IPO_1$  in einen Systemtakt des Motionmanagers 5 zu überführen und über eine weitere Zwischeninterpolation die Antriebsbusse im richtigen Takt mit den Informationen für die Antriebe 6.1a-g zu versorgen. Die hierzu erforderliche konkrete Ausgestaltung des Motionmanagers 5 zeigt die Fig. 2.  
 20

Die Fig. 2 zeigt detailliert den Aufbau eines Motionmanagers 5 gemäß der Fig. 1. Oben in Fig. 2 sind nochmals die bereits in der Fig. 1 gezeigten Maschinensteuerungen, nämlich die Robotersteuerung 2.2, die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS/PLC) 2.3 sowie die CNC-Steuerung 2.4 dargestellt. Jede dieser Steuerungen liefert Daten bei einem ihr  
 25 eigenen Interpolations-Takt  $IPO_1$ , hier speziell den Interpolationstakten  $IPO_1$ ,  $IPO_2$ ,  $IPO_3$ . Der Motionmanager 5 weist nun zunächst eine als obere Zwischeninterpolationsschicht 5.3 bezeichnete gemeinsame Interpolationseinrichtung für die IPO-Takte  $IPO_1$  auf, in der die Takte der unterschiedlichen Steuerungen 2.2-2.4 auf einen gemeinsamen Systemtakt  $t_{Tick}$  interpoliert werden. Dabei gilt für die Interpolatoren  
 30 3.1a, 3.2a, 3.3a oberhalb des Motionmanagers 5:  
 35

$IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}$ , mit  $n_i = 1, 2, 3, \dots$ , d.h. diese Interpolatoren laufen mit einer größeren, vielfachen Zeiteinheit bezogen auf den Systemtakt  $t_{\text{Tick}}$  des Motionmanagers 5. Weiterhin gilt für den Systemtakt  $t_{\text{Tick}}$  des Motionmanagers 5:  $t_{\text{Tick}} = n \cdot \text{RTACC}$ , wobei RTACC einen Quarztakt der Systemuhr angibt, der heute in der Regel  $125 \mu\text{s}$  für einen 8 kHz-Quarz beträgt, wobei wiederum  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Der konkrete Wert für RTACC wird also direkt durch die verwendete Hardware vorgegeben.

10

An die obere Zwischeninterpolationsschicht 5.3 schließt sich der eigentliche Kern 5.4 des Motionmanagers 5 an, der zur Durchführung bestimmter Aufgaben, wie Zustandsverwaltung, zyklische Überwachung, Messen, Diagnose, Initialisierung, Parametrisierung, Bewegung, zur Verwaltung von Tasks und Takten sowie zum Verwalten einer Konfigurations-Datenbank ausgebildet ist (Bezugszeichen 5.4a-i). Weiterhin weist der Motionmanager 5 eine als untere Zwischeninterpolationsschicht 5.5 bezeichnete Interpolationseinrichtung auf, die zum Verändern zeitrelevanter Aufgaben nach bestimmten Zeiteinteilungs-Tabellen (Timescheduling-Tabellen) ausgebildet ist. Die Timescheduling-Tabellen werden benötigt, um Tasks mit höherer Priorität, die längere Berechnungen erfordern, als ihnen die Zeitscheibe, z.B. eine Taktperiode, zur Verfügung stellt, über mehrere Zeitscheiben zu verlängern. Tasks niedriger Priorität werden unterbrochen bzw. verschoben, um die hochprioreren Tasks fertig zu rechnen. Diese Timescheduling-Mechanismen müssen so konfiguriert werden, dass das echtzeitfähige Runtime-System sicher läuft und die Steuerungsmechanismen immer prioritätsgesteuert ablaufen können. Dabei soll es keine Rolle spielen, in welchem Takt (erfindungsgemäß ein Vielfaches des Systemtakts) ein bestimmter Interpolator läuft.

30

Die in der Fig. 1 angedeutete Konfigurationseinrichtung 2.1 (mit Verbindung 5.1; s.o.) schlägt dabei einen Interpolationstakt für jeden in der unter Zwischeninterpolations- schicht 5.5 enthaltenen achsrelevanten Interpolator vor.

5 Die achsrelevanten Interpolatoren sind in der Fig. 2 nicht explizit dargestellt. Es handelt sich dabei um Interpolationseinrichtungen in der unteren Zwischeninterpolations- schicht 5.5, die gezielt Informationen bei bestimmten ange-  
 10 passten Takten an bestimmte Funktionseinheiten 6, wie bei- spielsweise einen Antrieb, liefern (vergleiche Fig. 1). An die untere Zwischeninterpolationsschicht 5.5 schließt sich die bereits anhand der Fig. 1 beschriebene DPRAM-Antriebs- schnittstelle 5.2 mit den entsprechenden Treibern 5.2a-f für die Anlagen-Busse 8.1-8.3 an, wie ebenfalls bereits an-  
 15 hand der Fig. 1 detailliert beschrieben wurde.

Erfindungsgemäß kann das Einstellen des IPO-Taktes für den jeweiligen achsrelevanten Interpolator und die dafür not- wendige Zwischeninterpolation in der unteren Zwischeninter-  
 20 polationsschicht 5.5 entweder manuell oder automatisch an- genommen (bestätigt) werden. Weiterhin ist es möglich, dass einer der Antriebsbusse 8.1-8.3 bzw. die entsprechenden Funktionseinheiten dem Motionmanager 5 eine kürzere System- taktzeit  $t_{\text{Tick}}$  vorschlägt. Dies ist beispielsweise dann der  
 25 Fall, wenn spezielle Regelverfahren, wie z.B. eine Stromre- gelung, mit der beschriebenen PC-Steuerung über einen be- stimmten Antrieb gefahren werden sollen. Bringt ein An- triebsbus ein kürzeres Taktsignal als den Systemtakt  $t_{\text{Tick}}$  mit, so "meldet sich" die entsprechende Antriebsachse beim  
 30 Konfigurator 2.1, 5.1 (vergleiche Fig. 1) des Motionmana- gers 5 mit der Nachfrage um Übernahme des kürzeren System- takttes, der im Folgenden als  $t_{\text{Tick}}'$  bezeichnet wird. Der Konfigurator kann dann mittels der Bestimmungseinrichtung 2.6 (Fig. 1) eine Belastung des Gesamtsystems bestimmen und  
 35 entsprechend einen neuen Systemtakt  $t_{\text{Tick}}'$  vorschlagen, für

den jedoch gilt:  $t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}$ . Dabei können einige Interpolatoren mit Hilfe der Zwischeninterpolationsschicht 5.5 nach dem bisherigen IPO-Takt  $t_{\text{Tick}}$  weitergefahren werden, wenn hier eine Notwendigkeit für eine verbesserte Regelschleife nicht gegeben ist. Auf diese Weise ist es im Einzelfall möglich, CPU-Ressourcen für die notwendigerweise kürzer getakteten Regelschleifen freizugeben. Die angegebenen Einstellungen für die Interpolatoren nach der Regel  $n \cdot t_{\text{Tick}}$  bzw.  $1/n' \cdot t_{\text{Tick}}$  sind deshalb notwendig, da im Rahmen einer effektiven Umsetzung der Erfindung jeweils nur eine einzige Zwischeninterpolationsschicht 5.3, 5.5 sinnvoll ist und alle vorhandenen Interpolatoren diese Zwischeninterpolationsschicht verwenden, wobei es möglich sein soll, die verschiedenen Interpolatoren der unterschiedlichen vorhandenen Geräte gleichzeitig aber mit unterschiedlichen Takten zu fahren, da beispielsweise ein RC-Interpolator wesentlich mehr kartesische und roboterspezifische Informationen pro Zeiteinheit übermitteln muss, als beispielsweise der Interpolator einer einfacheren SoftSPS.

Die Fig. 3 zeigt detailliert die Steuerungsarchitektur einer PC-Steuerung zum Steuern einer komplexen Anlage mit wiederum einem nicht-echtzeitfähigen Teil 2 und einem echtzeitfähigen Teil 3, die mehrere voneinander unabhängige Maschinensteuerungen 3.1, 3.2, 3.3 verwalten und über verschiedene Treiber und Bussysteme eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionseinheiten, wie Antriebe, Sensoren, Ein- und Ausgabevorrichtungen und Peripheriegeräte ansprechen kann.

Die bereits in der Fig. 1 gezeigten Bedienungseinrichtungen 2.1 sind in der Darstellung der Fig. 2 detailliert in Programmierwerkzeuge 2.1a, Diagnosewerkzeuge 2.1b, Steuerungssoftware 2.1c sowie Mensch-Maschinen-Schnittstellen (HMIs) zu Steuerungszwecken 2.1d aufgeschlüsselt. Weiterhin umfasst der nicht-echtzeitfähige Teil 2 der PC-Steuerung

einen Treiber 2.5, beispielsweise ein Windows-Treiber, dessen Funktion weiter unten erläutert wird. Über einen Programmdaten-Router 3.4 gelangen die in den Interpolations-einrichtungen 3.1a, 3.2a, 3.3a der Maschinensteuerungen

5 3.1, 3.2, 3.3 erzeugten Programmdaten zu dem vorstehend detailliert erläuterten Motionmanager 5 bzw. weiteren, entsprechend ausgestalteten Managereinrichtungen für Sensoren (Sensormanager 5'), Ein- und Ausgabeeinrichtungen (I/O-Manager 5'') und zusätzliche Peripheriegeräte (Peripherie-

10 manager 5<sup>(3)</sup>). Diese liefern entsprechende Treiberinformationen über einen Busdaten-Router 7 an eine Anzahl von Bussen 8.1, 8.2, 8.3, die jeweils einen eigenen Treiber 8.1a, 8.2a, 8.3a aufweisen. An die Busse 8.1-8.3 sind - wie bereits erwähnt - Funktionseinheiten 6 der zu steuernden

15 Anlage angeschlossen (vergleiche Bezugszeichen 6.1x, 6.2x in Fig. 1 und 2), beispielsweise Antriebe A1 bis A6, Sensoren S1 bis S6, Antrieb A7, Antrieb A8, Peripheriegeräte P1, Ein- und Ausgabeeinrichtungen I/O1, Sensor S7, Antrieb A9, Ein- und Ausgabeeinrichtungen I/O2 sowie Peripheriegeräte

20 P2. Als Peripheriegeräte sind z.B. Spiegelmotoren für Galvos (zum Ablenken von Lasereinheiten) oder kleine, schnelle Antriebsachsen zu nennen. Es können auch schnelle Eingänge über einen schnellen Echtzeittreiber realisiert werden, der z.B. Positionen auf einer Achse puffert, die nicht im gleichen Antriebsstrang liegen. Die Managereinrichtungen 5, 5', 5'', 5<sup>(3)</sup> beinhalten entsprechende Treiber 5.2a, 5.2b, 5.2a', 5.2b', 5.2a'', 5.2a<sup>(3)</sup>, 5.2b<sup>(3)</sup>. Der Treiber 2.5 dient zur Steuerung des Busdaten-Routers 7. Weiterhin übernimmt

25 der Treiber 2.5 die Meldungsbereitstellung der Daten aus der Schnittstelle unter den Interpolatoren. Die Interpolatoren melden ihre Echtzeit-Diagnosedaten über die entsprechende Steuerung an die nicht-echtzeitfähige Umgebung, beispielsweise eine Windows-Umgebung. Die Antriebsdaten der Achsen werden direkt über den Windows-Treiber 2.5 der Win-

30 dows-Ebene 2 zu Diagnosezwecken bereitgestellt. D.h. alle

35

Daten aus dem Antriebsstrang, die nicht-echtzeitfähig in der Windows-Welt abfragbar sind, werden über diese "Mel-dungsschnittstelle" zur Verfügung gestellt.

5 Unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht somit in einfacher und effizienter Weise die Möglichkeit, z.B. drei Achsen eines Sechssachs-Industrieroboters (RC) über die in den Fig. 1 und 2 gezeigten DSE-Treiber, weitere zwei Roboterachsen über  
 10 einen Ethernet-Treiber und die sechste Roboterachse über Ethercat (Ethernet for Controll Automation Technology) zu betreiben. Weiterhin ist es auf diese Weise möglich, paral-lel zur beschriebenen RC-Welt auch die CNC-Welt mit zuge-  
 15 ordneten Achsen 1 bis 20 synchroner oder asynchroner Servo-motoren über Sercos-Treiber und Achsen 21 bis 24 über den Ethernet-Treiber anzusteuern. Zusätzlich kann die (Soft-) SPS zugeordnete Achsen 1 bis 8 über den DSE-Treiber und weitere Achsen 9 bis 12 über Sercos-Treiber ansteuern. Eine  
 20 solche Konfiguration muss vor der erstmaligen Verwendung manuell über den Motionmanager 5 konfiguriert werden, bei-spielsweise unter Verwendung der dargestellten Bedienungs-einrichtung 2.1, 5.1.

25 Die weiterhin oben genannten Aufgaben des Motionmanagers 5 sind wie folgt charakterisiert:

a) Initialisierung

30 Der Motionmanager 5 kann als Steuerungsbasis betrachtet werden. Bei seinem Bootvorgang werden die zentralen Sy-stemdienste und Einstellungen initialisiert.

b) Kleinster Grundtakt (Tick)

35 Der Systemgrundtakt (in  $\mu$ s) wird über den Motionmana-



ger 5 konfiguriert. Die Taktquelle kann ein externer Interrupt (z.B. SERCOS-Karte) sein. Alle anderen Takte im System müssen ganzzahlige Vielfache des Systemgrundtaktes,  $t_{\text{Tick}}$ , sein.

5

c) Konfigurations-Datenbank

Der Motionmanager 5 lädt zuerst sämtliche konfigurierten Achstreiber. Anschließend legt jeder Achstreiber für seine konfigurierten Achsen Achsobjekte an. Nach den Achstribern lädt der Motionmanager 5 die Interpolatoren in der unteren Zwischeninterpolationsschicht 5.5 und initialisiert diese. Die Zuordnung der Achsen zu den Interpolatoren kann erstmalig bei deren Initialisierung stattfinden und zur Laufzeit umkonfiguriert werden.

10

15

d) Zyklische Überwachung

Der Motionmanager 5 synchronisiert den Hochlauf der verschiedenen Module (Achstreiber/Interpolatoren) über eine State-Machine und überwacht die Interpolatoren zyklisch.

20

25

e) Parametrisierung

Der Motionmanager 5 ordnet logische Achsen einem Interpolator zu. Für Achsverbände (gekoppelte Achsen) kann konfiguriert werden, dass diese Achsen nur im Verbund einem Interpolator zugeordnet werden können.

30

f) Diagnosefunktionen (Trace)

Die Achstreiber erhalten eine Schnittstelle, über die eine Trace-Konfiguration eingelesen werden, ein Trace

35

gestartet, gestoppt oder getriggert werden kann. Die Konfiguration und die Datenspeicherung sind achstreiberspezifisch. Ein synchrones Tracen über mehrere Achstreiber ist nicht möglich.

5

#### g) Messen

Die Funktionalität schnelles Messen, Conveyor (antriebslose Achse) und sog. Touchsense müssen in einer separaten Funktionalität mit den Interpolatoren synchronisiert werden.

10

#### h) Zustandsverwaltung

Der Motionmanager 5 verwaltet die Zustände der Bremsen und Reglerfreigaben. Dazu müssen die Interpolatoren Aufträge zur Regler- und Bremsenfreigabe absetzen. Der Motionmanager sorgt für eine Konsistenzprüfung. Achsen, die am gleichen Bremskanal hängen, werden gegebenenfalls vom Motionmanager 5 auf "in Regelung" gesetzt.

15

20

#### i) Bewegung

Folgende Bewegungsarten sind zu synchronisieren:

25

zyklische Daten (Soll-Werte)

- Position
- Geschwindigkeitsvorsteuerung
- Momentenvorsteuerung

30

zyklische Daten (Ist-Werte)

- Position
- Geschwindigkeit
- Strom (Moment)

nicht zyklische Daten

35

- Reglerfreigabe

- Bremsenfreigabe
- Parametersatz-Auswahl
- Überwachungsgrenzen.

5 Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung ist es möglich, Positionswerte der Roboterwelt, beispielsweise eine Position der Werkzeugspitze (TCP: Tool Center Point) mit Bewegungen der CNC- oder PLC-Welt zu mischen oder zu synchronisieren. Beispielsweise kann ein in kartesischen Koordinaten gegebener TCP eines Roboters mit allen zeitrelevanten Steuersignalen über den Motionmanager der CNC- oder der SoftSPS-Welt ohne Zeitverzögerungen im Takt der Interpolatoren zur Verfügung gestellt werden. Entsprechend ist es jedoch auch möglich, die Einzel- oder Mehrfachachsen-Signale der CNC- oder SPS-Welt dem Roboterinterpolator zur Verfügung zu stellen. Derartiges Mischen der verschiedenen Motionwelten führt zu einer erheblichen Vereinfachung der Anlagenprogrammierung, beispielsweise über die HMI-Welt.

20 Weiterhin ist eine Verändern der Interpolationstakte für alle Motionwelten in einem Zug möglich. Auf diese Weise können einige wenige Achsen mit genauer Bahnplanung und sehr kurzem Interpolationstakt gefahren oder durch Andocken weiterer Achsen der Interpolator bezüglich einer Bewegungsanforderung angepasst werden. Folgendes Szenario ist erfindungsgemäß möglich: Nach Anschluss z.B. mehrerer Sercos-Antriebe meldet sich der Antriebsregler eines bestimmten Antriebs über den speziellen Treiber durch den Zwischeninterpolator am Motionmanager an mit der Mitteilung, dass ein

30 125µs-Takt als Taktung auf dem Antriebsbus über einen Antriebsstrang möglich ist. Nur der Motionmanager kennt die Gesamtanlage und kann durch eine State-Machine kontrollieren, ob die untere Zwischeninterpolationsschicht so umgestaltet werden kann, dass der genannte Takt über den

35 Motionmanager und den entsprechenden Interpolator möglich

ist oder nicht (Systemauslastung bei z.B. 100 Achsen).  
Hierzu ist dem Motionmanager die Systemlast bekannt, so  
dass hier auch eine Automatisierung (Hochschalten der Zwischeninterpolatoren) realisierbar ist.

5

In diesem Zusammenhang ist auch ein An- und Abkoppeln bzw. eine Übergabe von Einzelachsen an einen anderen Motionkern möglich, z.B. aufgrund einer Verwendung von Ethercat. Dies bedeutet im Zuge einer automatisierten Umorganisation einer

10

Anlage oder im Fehlerfalle eine enorme Erleichterung für den Betreiber. Darüber hinaus ist bei Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Ein- oder Aussynchronisieren, beispielsweise eine TCP- oder Werkzeug-Übergabe, innerhalb einer Anlage von

15

einem Roboter in die CNC-Welt oder zu einem SPS-Bandvorschub einfach realisierbar.

Auch eine Bewegungssteuerung im Falle kooperierender Roboter und/oder Anlagen ist mit Hilfe des erfindungsgemäßen

20

Verfahren bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich.

PATENTANWÄLTE  
DIPL.-ING. HEINER LICHTI  
DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. JOST LEMPERT  
DIPL.-ING. HARTMUT LASCH  
DIPL.-ING. STEFFEN LENZ

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)  
POSTFACH 410760  
TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH  
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

9. Dezember 2003  
20405.7 Le/nu/zl

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben zusammenarbeitender, auch unterschiedlicher Geräte, insbesondere einer Anlage, mit diesen durch Steuerungsabläufe steuernden unterschiedlichen Steuerungen, insbesondere mit unterschiedlichen Steuerungstakten, dadurch gekennzeichnet, dass die Takte der unterschiedlichen Steuerungen auf einen gemeinsamen Systemtakt ( $t_{\text{tick}}$ ) interpoliert werden und dass die Steuerungsabläufe in mindestens einer Synchronisationseinrichtung synchronisiert werden.  
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Funktionseinheiten der Anlage nach erfolgter Synchronisierung nach einer weiteren Interpolation mit Steuersignalen versorgt werden.  
15
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Steuerungstakte der unterschiedlichen Steuerungen gemäß einer Beziehung  
20

$$IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}, n_i = 1, 2, 3, \dots$$

gewählt werden, wobei  $t_{\text{Tick}}$  ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer zur Durchführung des Verfahrens verwendeten Hardware ist.

- 5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Interpolation auf einen gemeinsamen Systemtakt in einer gemeinsamen Interpolations-  
10 einrichtung für eine Steuerung erfolgt.
- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass Achsen der Geräte koordiniert werden.
- 15 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisierung und/oder Koordinierung in Echtzeit durchgeführt wird.
- 20 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass einer Koordinierungseinrichtung durch die Funktionseinheiten ein veränderter Systemtakt vorgeschlagen wird.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Koordinierungseinrichtung den veränderten Systemtakt annimmt oder ablehnt.
- 30 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass für den veränderten Systemtakt gilt:

$$t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}, n' = 1, 2, 3, \dots$$

- 35 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl von Funktionseinheiten nach er-

folgter Taktänderung nach dem alten Systemtakt weiterbetrieben werden.

- 5 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils eine Mehrzahl von Geräten eines bestimmten Gerätetyps betrieben wird.
- 10 12. Vorrichtung zum Betreiben zusammenarbeitender, auch unterschiedlicher Geräte, insbesondere einer Anlage, mit diese durch Steuerungsabläufe steuernden unterschiedlichen Steuerungen, insbesondere mit unterschiedlichen Steuerungstakten, gekennzeichnet durch mindestens eine gemeinsame Interpolationseinrichtung (5.3) für die Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) zum Interpolieren der Takte (IPO<sub>i</sub>) der unterschiedlichen Steuerungen (3.1, 3.2, 15 3.3) auf einen gemeinsamen Systemtakt (t<sub>tick</sub>) und mindestens eine Synchronisationseinrichtung (5) zum Synchronisieren der Steuerungsabläufe.
- 20 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch zumindest eine weitere Interpolationseinrichtung (5.5) zum Interpolieren von Steuersignalen für Funktionseinheiten (6.1a-g) der Geräte nach erfolgter Synchronisierung.
- 25 14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, gekennzeichnet durch eine Koordinationseinrichtung (5) zum Koordinieren der Steuerungsabläufe.
- 30 15. Vorrichtung einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5) echtzeitfähig sind.
- 35 16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, gekennzeichnet durch eine nicht-echtzeitfähige Komponente

(2.1) zum Verändern von Einstellungen der Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5).

5 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5) und eine Anzahl von Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) als auf einer gemeinsamen Rechneinheit (PC) ausführbare Programmeinrichtungen ausgebildet sind.

10

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Geräte während des Betriebs anschließbar sind.

15 19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die gemeinsame Interpolationseinrichtung (5.3) zum Interpolieren von Steuerungstakten der Form

20

$$IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n_i = 1, 2, 3, \dots$$

ausgebildet ist, wobei  $t_{\text{Tick}}$  ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer verwendeten Hardware ist.

5 20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5) zum Verändern des Systemtakts ( $t_{\text{Tick}}$ ) auf Anfrage durch wenigstens eine Funktionseinheit (6.1a-g) ausgebildet ist, wobei für den veränderten Systemtakt ( $t_{\text{Tick}}'$ ) gilt:

30

$$t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n' = 1, 2, 3, \dots$$

35 21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisations- und/oder Koordinierungsein-



richtung (5) eine Bestimmungseinrichtung (2.6) zum Bestimmen einer Belastung des Systems aufweist, deren Ergebnis für die Veränderung des Systemtakts ( $t_{\text{Trick}}$ ) maßgeblich ist.

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. HEINER LICHTI

DIPL.-PHYS.DR.RER.NAT. JOST LEMPERT

DIPL.-ING. HARTMUT LASCH

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)

POSTFACH 4110760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH  
Blücherstraße 1449. Dezember 2003  
20405.7 Le/nu/zl

86165 Augsburg

### Zusammenfassung

Ein Verfahren zum Betreiben zusammenarbeitender, unterschiedlicher Geräte, insbesondere einer Anlage, mit diesen Durchsteuerungsabläufe steuernden unterschiedlichen Steuerungen, insbesondere mit unterschiedlichen Steuerungstakten zeichnet sich dadurch aus, dass die Takte ( $IPO_i$ ) der unterschiedlichen Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) auf einen gemeinsamen Systemtakt ( $t_{Tick}$ ) interpoliert werden und dass die Steuerungsabläufe synchronisiert werden. Eine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete Vorrichtung besitzt entsprechend mindestens eine gemeinsame Interpolationseinrichtung (5.3) für die Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) zum Interpolieren der Takte ( $IPO_i$ ) der unterschiedlichen Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) auf einen gemeinsamen Systemtakt ( $t_{Tick}$ ) und mindestens eine Synchronisationseinrichtung (5) zum Synchronisieren der Steuerungsabläufe.

(Fig. 2)

## PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. HEINER LICHTI

DIPL.-PHYS.DR.RER.NAT. JOST LEMPERT

DIPL.-ING. HARTMUT LASCH

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)

POSTFACH 4110760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

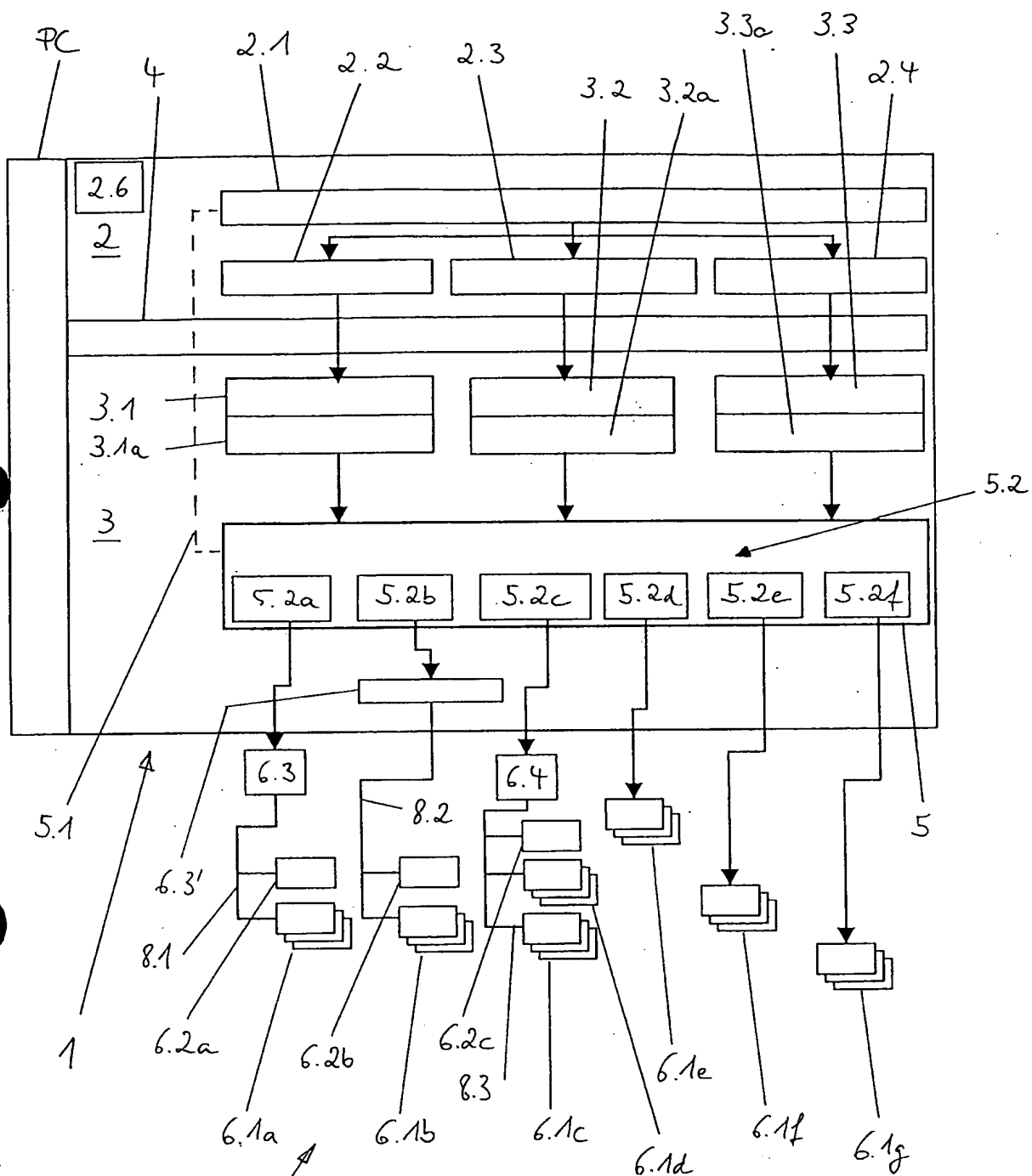
KUKA Roboter GmbH  
Blücherstraße 1449. Dezember 2003  
20405.7 Le/nu/zl

86165 Augsburg

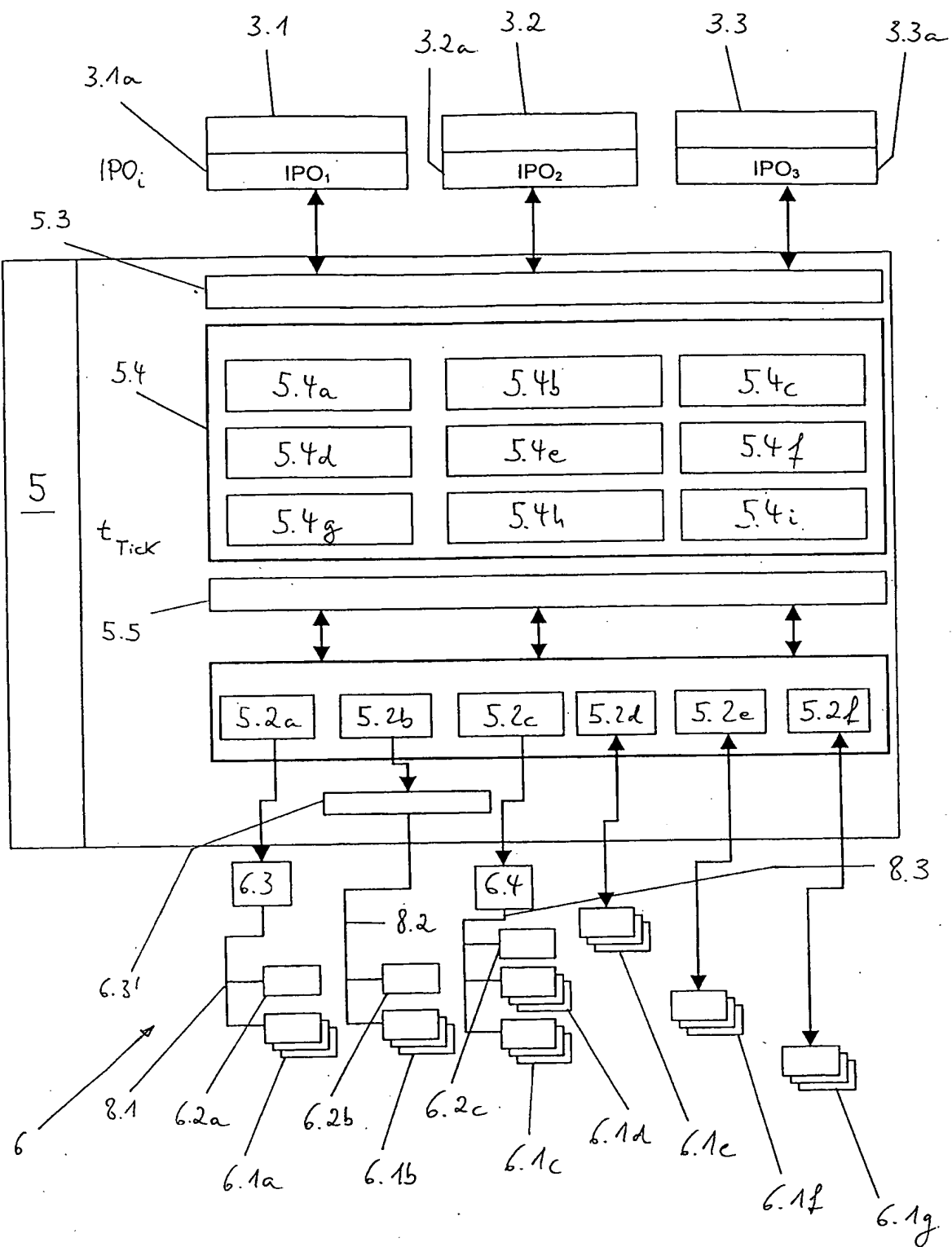
## Bezugszeichenliste

	1	Vorrichtung
	2	nicht-echtzeitfähiger Teil
	2.1	Bedienungs-, Programmiereinrichtung
5	2.1a	Programmierwerkzeug
	2.1b	Diagnosewerkzeug
	2.1c	Steuerungssoftware
	2.1d	Steuerungs-HMI
	2.2	Roboter-Code
10	2.3	SPS-Code
	2.4	G-Code
	2.5	(Windows-)Treiber
	2.6	Bestimmungseinrichtung
	3	echtzeitfähiger Teil
15	3.1	Robotersteuerung
	3.1a	Roboter-Interpolator
	3.2	SPS
	3.2a	SPS-Interpolator
	3.3	CNC
20	3.3a	CNC-Interpolator

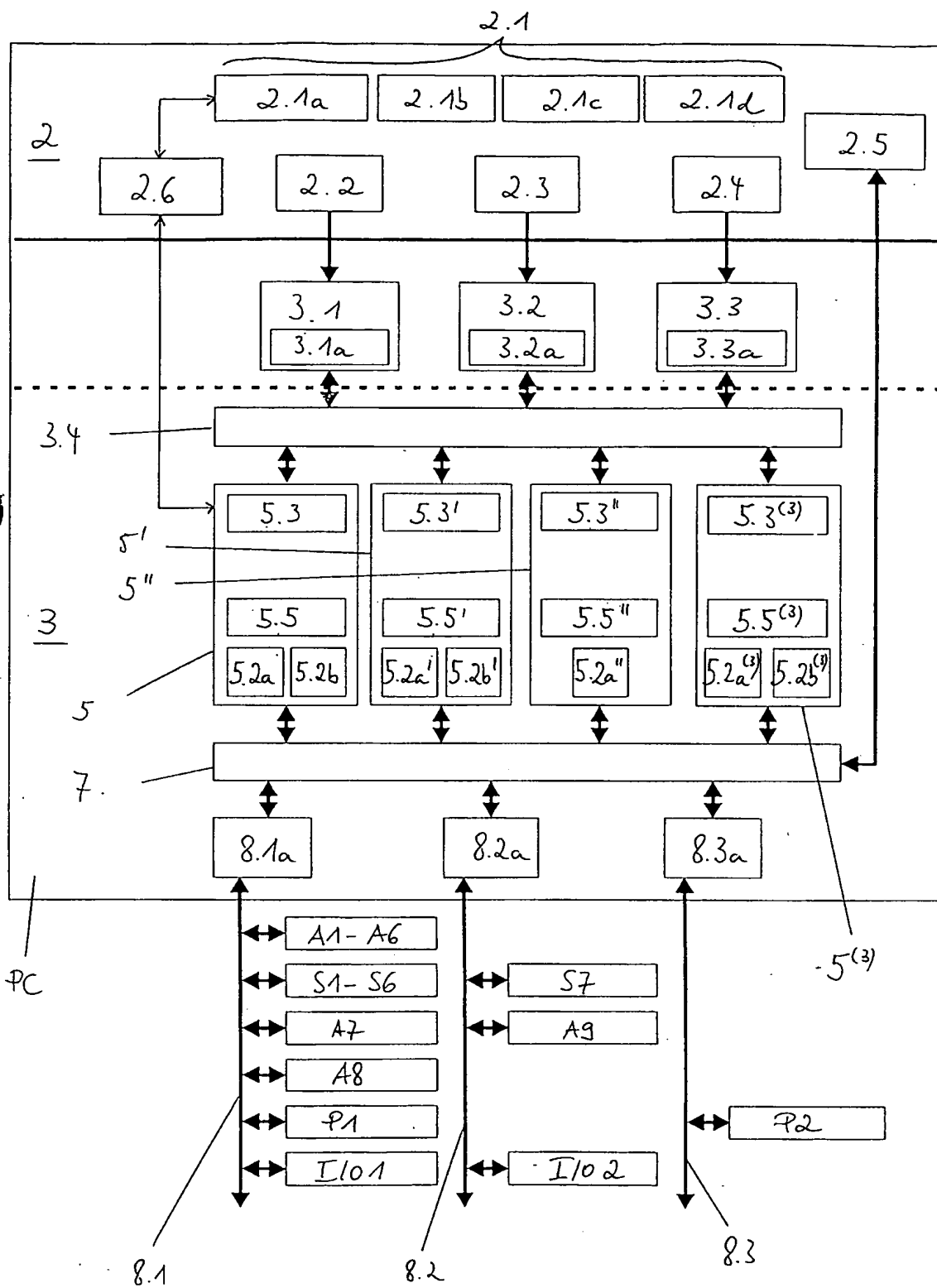
	4	TCP/IP-Protokoll
	5	Motionmanager
	5'	Sensormanager
	5''	I/O-Manager
5	5 <sup>(3)</sup>	Peripherie-Manager
	5.1	Verbindung
	5.2	Bewegungs-Treiberschicht
	5.2a-f	Treiber
	5.3	obere Zwischeninterpolationsschicht
10	5.4	Managerkern
	5.5	untere Zwischeninterpolationsschicht
	6	Funktionseinheiten
	6.1a-g	Antriebe
	6.2a-c	Stromquellen
15	6.3, 6.3'	DSE
	6.4	HRB
	7	Busdaten-Router
	8.1, 8.2, 8.3	Bus
	8.1a, 8.2a, 8.3a	Bustreiber
20	A1-A9	Antrieb
	I/O1, I/O2	Ein- und Ausgabeeinrichtungen
	IPO <sub>i</sub>	Interpolations-Takt
	n, n <sub>i</sub> , n'	natürliche Zahl (1, 2, 3, ...)
	PC	Personalcomputer
5	P1, P2	Peripherie
	RTACC	Quarztakt
	S1-S7	Sensor
	t <sub>Tick</sub> , t <sub>tick</sub>	Systemtakt



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**